

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Surfac - mitting laser diod

Patent Number: ☐ US5555255
Publication date: 1996-09-10
Inventor(s): KOECK ANTON (DE); GORNIK ERICH (DE)
Applicant(s): SIEMENS AG (DE)
Requested Patent: ☐ DE4240706
Application Number: US19950448425 19950605
Priority Number(s): DE19924240706 19921203; WO1993DE01113 19931124
IPC Classification: H01S3/19
EC Classification: H01S5/187, H01S5/183
Equivalents: ☐ EP0672310 (WO9413043), B1, JP8503816T, ☐ WO9413043

Abstract

PCT No. PCT/DE93/01113 Sec. 371 Date Jun. 5, 1995 Sec. 102(e) Date Jun. 5, 1995 PCT Filed Nov. 24, 1993 PCT Pub. No. WO94/13043 PCT Pub. Date Jun. 9, 1994A surface-emitting laser diode with an active layer (3) between contact layers (2, 4) and reflector arrangements (9, 19) provided for a vertical resonance condition, in which the surface of the semiconductor material is provided with a spatial periodic structure, which is intended for the excitation of surface plasmon polaritons, and is covered with a thin metal film (5).

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

THIS PAGE BLANK (USPTO)

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 42 40 706 A 1

51 Int. Cl.⁵:
H01 S 3/085
H 01 S 3/19

21 Aktenzeichen: P 42 40 706.0
22 Anmeldetag: 3. 12. 92
43 Offenlegungstag: 9. 6. 94

REINLEGE
FILE COPY

DE 42 40 706 A 1

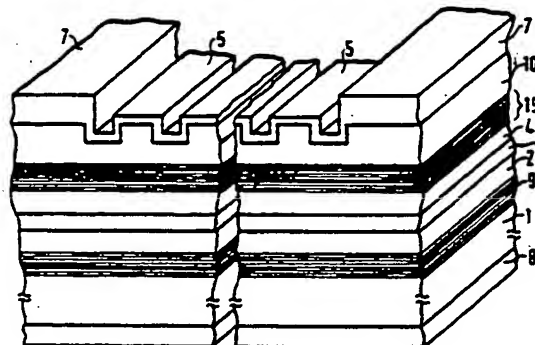
71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Köck, Anton, Dr., 8000 München, DE; Gornik, Erich,
Prof. Dr., 8000 München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Oberflächenemittierende Laserdiode

57 Oberflächenemittierende Laserdiode mit einer aktiven Schicht (3) zwischen Kontaktschichten (2, 4) und für eine vertikale Resonanzbedingung vorgesehenen Spiegelanordnungen (9, 19), bei der die Oberfläche des Halbleitermaterials mit einer für die Anregung von Oberflächenplasmonpolaritonen vorgesehenen räumlichen periodischen Strukturierung versehen und mit einem dünnen Metallfilm (5) bedeckt ist.



DE 42 40 706 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 84 408 023/238

5/35

Die vorliegende Erfindung betrifft eine oberflächenemittierende Laserdiode mit besonders guter Richtcharakteristik unter Ausnutzung der Anregung von Oberflächenplasmonpolaritonen.

In der EP-A-0 442 002 ist ein oberflächenemittierendes strahlungserzeugendes Halbleiterbauelement, das mittels Anregung von Oberflächenplasmonpolaritonen betrieben wird, beschrieben. Dieses Bauelement kann insbesondere als Laserdiode ausgestaltet sein. Die Struktur basiert auf einem Emissionsmechanismus über Anregung und Emission von Oberflächenplasmonpolaritonen, das sind transversal elektrische (TE) oder transversal magnetische (TM) Oberflächenmoden, die sich an der Grenzfläche zweier verschiedener Medien ausbreiten können. Bei geeigneter periodischer Strukturierung der Grenzfläche können diese Moden mit elektromagnetischen Wellen angeregt werden. Unter Anwendung dieses Emissionsmechanismus lassen sich die Eigenschaften von lichtemittierenden Dioden, insbesondere Laserdioden, verbessern. Bei herkömmlichen lichtemittierenden Bauelementen auftretende Verlustmechanismen, die den Wirkungsgrad begrenzen, können damit umgangen werden, wobei gleichzeitig die Linienbreite deutlich verringert und die externe Quantenausbeute drastisch erhöht wird. Eine gerichtete Abstrahlung mit definierter Polarisierung mit einer Strahldivergenz von weniger als 6° ist erreichbar. Wesentlich für den Aufbau dieser Struktur sind dabei eine räumliche periodische Strukturierung der Oberfläche des Halbleitermaterials, d. h. die einem überwachsenen Substrat abgewandte Halbleiteroberfläche, und ein darauf aufgebracht dünner Metallfilm. An der dem Halbleitermaterial abgewandten Oberfläche dieses Metallfilmes werden die Oberflächenmoden angeregt, so daß von der Oberfläche gerichtet Licht abgestrahlt wird. Die Polarisationsrichtung ergibt sich aus der Richtung der periodischen Anordnung der Oberflächenunebenheiten.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte oberflächenemittierende Laserdiode mit starker Strahlbündelung und einstellbarer Abstrahlrichtung anzugeben.

Diese Aufgabe wird mit der Laserdiode mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Die erfindungsgemäße Laserdiode verwendet einen Schichtaufbau, wie er von herkömmlichen oberflächenemittierenden Laserdioden mit vertikalem Resonator grundsätzlich bekannt ist. Diese Struktur wird so modifiziert, daß die Abstrahlung des Lichtes über eine Anregung von Oberflächenmoden erfolgen kann.

Es folgt eine Beschreibung der erfindungsgemäßen Laserdiode anhand der Fig. 1 und 2, die jeweils eine Ausführungsform in schräger Schnittauficht zeigen.

Die erfindungsgemäße Laserdiode besitzt eine Schichtstruktur mit einer aktiven Schicht 3 zwischen Kontaktschichten 2, 4, die für eine Stromzuführung in die aktive Schicht 3 vorgesehen sind. Zweckmäßig ist die gesamte Schichtanordnung auf ein Substrat 1 aufgewachsen. In der Oberfläche des Halbleitermaterials ist die räumliche periodische Strukturierung, die für die Anregung der Oberflächenmoden erforderlich ist, z. B. durch Ätzen, ausgebildet. In dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 wird diese Oberfläche durch die Oberfläche einer Deckschicht 10, die auf die obere Kontaktschicht 4 aufgewachsen ist, gebildet. Auf diese strukturierte

Oberfläche ist ein dünner Metallfilm 5, z. B. aus Aluminium, Gold oder Silber, aufgebracht. Die Dicke dieses Metallfilmes 5 kann z. B. so gering sein, daß der Metallfilm 5 semitransparent ist. Typische Dicken des Metallfilms 5 sind $0,01 \mu\text{m}$ bis $0,1 \mu\text{m}$. In Fig. 1 sind weitere für die Anregung der Oberflächenmoden maßgebliche Bemessungen dieser Strukturierung der Oberflächeingezeichnet. Wesentlich sind die Länge einer Periode L_g , der minimale Abstand a des Metallfilmes 5 von der aktiven Schicht 3 und die Höhe h , d. h. die Differenz des minimalen Abstandes und des maximalen Abstandes der mit dem Metallfilm 5 überzogenen Halbleiteroberfläche von der aktiven Schicht 3.

Ein Vertikalresonator ist in dieser Laserdiode ausgebildet, indem für die Erzeugung einer Resonanzbedingung in vertikal zu den Schichtebenen verlaufender Richtung Spiegel ober- und unterhalb der aktiven Schicht 3 angeordnet sind. In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 ist eine Spiegelanordnung 9 zwischen dem Substrat 1 und der unteren Kontaktschicht 2 vorgesehen. Den oberen Spiegel bildet der reflektierende Metallfilm 5. Die Spiegelanordnung 9 kann aus einer einzelnen Schicht oder aus einer Schichtfolge von aufeinanderfolgenden Halbleiterschichten mit unterschiedlichem Brechungsindex und vorteilhaft jeweils mit der Dicke einer viertel Wellenlänge bestehen. Besonders vorteilhaft bei der erfindungsgemäßen Laserdiode ist, daß eine gesonderte obere Spiegelanordnung entfallen kann, weil deren Funktion bereits durch den Metallfilm 5 übernommen werden kann. Die Deckschicht 10 kann dann auch entfallen und die Strukturierung in der Oberfläche der oberen Kontaktschicht 4 ausgebildet sein. Die für das Anlegen des Betriebsstromes erforderlichen Kontakte können bei leitfähigem Substrat 1 z. B. in der angegebenen Weise aufgebracht sein. Auf der Oberseite der Laserdiode ist dann ein Kontakt 7 vorhanden, der im Bereich der Strukturierung der Halbleiteroberfläche eine Aussparung aufweist, in der nur der dünne Metallfilm 5 aufgebracht ist. Es kann aber auch ganz flächig der Metallfilm 5 vorhanden sein, der dann als Kontakt für den elektrischen Anschluß ausreicht. Auf der Unterseite des leitfähigen Substrates 1 befindet sich der Gegenkontakt 8. Die untere Kontaktschicht 2 kann dann weggelassen sein und die Strominjektion in die aktive Schicht 3 durch die Spiegelanordnung 9 erfolgen. Wenn eine Kontaktschicht 2 vorhanden ist, kann der Gegenkontakt direkt auf einer nicht überwachsenen oder freigeätzten Oberfläche dieser Kontaktschicht 2 aufgebracht sein. Das Substrat 1 kann dann auch semiisierend sein. Zusätzlich zu der gezeigten Struktur kann die Oberfläche des Metallfilmes 5 mit einem Dielektrikum 6, wie es in Fig. 1 durch die strichpunktierte Linie angedeutet ist, bedeckt sein. Wie in der EP-A-0 442 002 beschrieben ist, dient eine derartige Schicht aus Dielektrikum 6 zur Anregung von Oberflächenmoden höherer Ordnung. Dieses Dielektrikum 6 kann auch als Schichtfolge mehrerer verschiedener Dielektrika ausgebildet sein.

In Fig. 2 ist eine alternative Ausführungsform dargestellt, bei der auch oberhalb der aktiven Schicht eine eigene Spiegelanordnung 19 vorhanden ist. Diese Spiegelanordnung 19 befindet sich zwischen der oberen Kontaktschicht 4 und der Deckschicht 10. Bei einer Laserdiode, die im Materialsystem von GaAs aufgebaut ist, ist das Substrat z. B. GaAs. Die aktive Zone 3 ist ebenfalls GaAs. Die Kontaktschichten 2, 4 sind AlGaAs. Die Deckschicht 10 kann ebenfalls AlGaAs sein. Die Spiegelanordnungen 9, 19 sind vorteilhaft ein Folge von

Schichten aus abwechselnd AlGaAs und AlAs. Die aktive Schicht 3 kann auch als Quantum-well-Struktur ausgebildet sein. Im Materialsystem von GaAs ist dann insbesondere eine aktive Schicht 3 aus einer Schichtfolge von Schichten aus abwechselnd GaAs und InGaAs vorteilhaft. InGaAs hat eine kleinere Energiebandlücke als GaAs, so daß dann die Spiegelanordnungen 9, 19 Schichtfolgen von Schichten aus abwechselnd AlAs und GaAs sein können, was das epitaktische Aufwachsen vereinfacht. Bei einem vereinfachten Aufbau dieser Laserdioden sind die obere Spiegelanordnung und die Deckschicht 10 weggelassen und die räumliche periodische Strukturierung der Oberfläche des Halbleitermaterials in der der aktiven Schicht 3 abgewandten Oberseite der oberen Kontaktschicht 4 ausgebildet. Die obere Spiegelanordnung 19 ist vorteilhaft eine Folge von Schichten unterschiedlichen Brechungsindex mit jeweils der Dicke einer viertel Wellenlänge oder in der aktiven Schicht erzeugten Strahlung.

Eine herkömmliche oberflächenemittierende Laserdiode strahlt im wesentlichen senkrecht zur Oberfläche ab. Eine scharfe Richtungsbündelung der Lichtabstrahlung, wie sie bei der erfindungsgemäßen Laserdiode erfolgt, ist bei einer herkömmlichen Laserdiode nur durch zusätzliche optische Maßnahmen, wie z. B. eine Linse, erreichbar. Mit der erfindungsgemäßen Laserdiode ist über Oberflächenmodenemission zusätzlich eine Lichtemission in verschiedene einstellbare Richtungen erreichbar. Durch die Anordnung der Oberflächenstrukturierung und die geeignete Wahl der oben angegebenen Bemessungen kann eine gerichtete Abstrahlung in bestimmte Winkel erfolgen. Außerdem kann die Polarisierungsebene des emittierten Lichtes eingestellt werden. Durch die Begrenzung der periodischen Strukturierung durch den dickeren oberen Kontakt 7 kann der Bereich der Strahlungsemission seitlich begrenzt sein. Der erfindungsgemäße Aufbau ist nicht auf das Materialsystem von GaAs beschränkt. Da die Dämpfung der Oberflächenmoden mit zunehmender Wellenlänge abnimmt, ist der Anregungs- und Emissionsmechanismus der Oberflächenmoden speziell im Infraroten besonders effektiv. Es muß lediglich die Gitterperiode der Wellenlänge angepaßt sein. Durch die Gitterperiode (Periodenlänge L_g) wird bei gegebener Wellenlänge der in der aktiven Schicht 3 erzeugten Strahlung die Abstrahlrichtung festgelegt. Durch die Bemessung der periodischen Strukturierung an der Oberfläche und die Wahl der Zusammensetzung des Halbleitermaterials der aktiven Schicht 3 kann daher die Abstrahlrichtung festgelegt werden. Die periodische Strukturierung kann wie in den Figuren gezeigt durch parallel zueinander ausgerichtete Gräben gebildet sein. In der Richtung dieser Gräben existiert keine Periodizität. Es kann statt dieser Ausführungsform jede in der EP-A-0 442 002 beschriebene Strukturierung vorgesehen sein. Insbesondere kann es sich um ein Kreuzgitter handeln, bei dem zwei senkrecht zueinander ausgerichtete Scharen von parallel zueinander angeordneten Gräben mit jeweils zu den nächstgelegenen Gräben gleichen Abständen vorhanden sind. Die Struktur ist dann in jeder Richtung in der Ebene des Schichtaufbaues periodisch. Die Gräben können durch kreuzweise ausgerichtete Scharen von parallel zueinander ausgerichteten Stegen mit jeweils zu den nächstgelegenen Stegen gleichen Abständen ersetzt sein oder dergleichen. Das Profil der Gräben oder Stege kann rechteckig sein oder gerundet, spitz, sinusförmig oder mehreckig.

Die erfindungsgemäße Laserdiode ermöglicht extrem

gebündelte Oberflächenemission in eine vorgebbare Richtung bei einfach herstellbarem Aufbau des Bauelementes.

Patentansprüche

1. Oberflächenemittierende Laserdiode aus Halbleitermaterial mit einer aktiven Schicht (3) und mit Kontakten (7, 8) zum Anlegen eines Betriebsstromes,

— bei der die von der aktiven Schicht (3) abgewandte Oberfläche des Halbleitermaterials mit einer räumlichen periodischen Strukturierung versehen ist,

— bei der zumindest auf einem mit dieser Strukturierung versehenen Bereich dieser Oberfläche ein Metallfilm (5) aufgebracht ist und

— bei der die Höhe (h) dieser Strukturierung und die Länge (L_g) jeweils einer Periode dieser Strukturierung, der minimale Abstand (a) dieses Metallfilmes (5) von der aktiven Schicht (3) und die Dicke (d_5) des Metallfilmes (5) so bemessen sind, daß im Betrieb der Laserdiode an der der aktiven Schicht (3) abgewandten Oberfläche des Metallfilmes (5) Oberflächenmoden durch in der aktiven Schicht (3) erzeugte Photonen angeregt werden,

dadurch gekennzeichnet, daß auf der dieser Strukturierung abgewandten Seite der aktiven Schicht (3) eine Spiegelanordnung (9) zur Ausbildung eines Vertikalresonators als Schicht oder als Schichtfolge vorhanden ist.

2. Laserdiode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der aktiven Schicht (3) und dem Metallfilm (5) eine weitere Spiegelanordnung (19) vorhanden ist.

3. Laserdiode nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Spiegelanordnung (9, 19) eine Folge aus Halbleiterschichten unterschiedlicher Brechungsindizes ist.

4. Laserdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Schicht (3) GaAs ist und daß jede Spiegelanordnung (9, 19) eine Folge von Schichten aus abwechselnd AlGaAs und AlAs ist.

5. Laserdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Schicht (3) eine Quantum-well-Struktur von Schichten aus abwechselnd GaAs und InGaAs ist und daß jede Spiegelanordnung (9, 19) eine Folge von Schichten aus abwechselnd GaAs und AlAs ist.

6. Laserdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche periodische Strukturierung in der Oberfläche einer Deckschicht (10) ausgebildet ist.

7. Laserdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Metallfilm (5) in einer Aussparung eines Kontaktes (7) aufgebracht ist.

8. Laserdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Metallfilm (5) gleichzeitig einen Kontakt (7) bildet.

9. Laserdiode nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Schicht (3)

zwischen vertikal zur Schichtebene daran angrenzenden Kontaktschichten (2, 4) angeordnet ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG 1

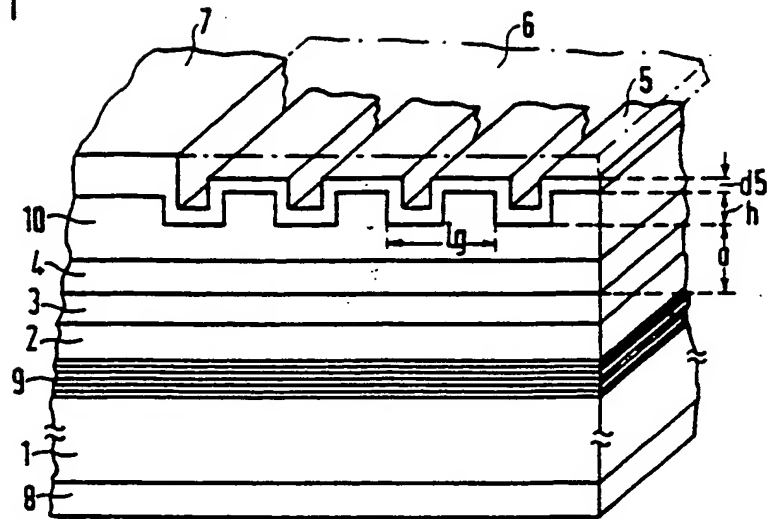


FIG 2

